

## 熱さ・冷たさを感じるわけ

— 小中学校理科指導の視点 —

### Humans' feeling as hot and cold

— in a viewpoint on science education of elementary and junior high school —

福永明日香<sup>a)</sup>, 岩田陽助<sup>b)</sup>, 古屋康則<sup>a)</sup>, 住浜水季<sup>a)</sup>, 土田慎治<sup>c)</sup>, 仲澤和馬<sup>a)</sup>

Asuka Fukunaga<sup>a)</sup>, Yousuke Iwata<sup>b)</sup>, Yasunori Koya<sup>a)</sup>, Mizuki Sumihama<sup>a)</sup>,  
Shinji Tsuchida<sup>c)</sup> and Kazuma Nakazawa<sup>a)</sup>

a) 岐阜大学教育学部, 理科教育講座 〒501-1193 岐阜市柳戸1-1

b) 岐阜大学教育学部附属小学校 〒500-8482 岐阜市加納大手町74

c) 岐阜大学教育学部附属中学校 〒500-8482 岐阜市加納大手町74

#### 要 旨

温度は熱エネルギーの大きさを示す尺度であり, 熱エネルギーは物質を構成する「粒子」である分子や原子の運動エネルギーである。この粒子的な見方を養うと, ものが「熱い・冷たい」と感じる理由や, 夏は暑く冬は寒いと感じる理由を理解できる。さらに, コンロでお湯を沸かせるのはなぜか, 温められた水や空気が上の方に集まるのはなぜか, そして山に登ると太陽に近づくのに涼しくなるのはなぜか, という具体事例を提示して, それらの理由を解説した。

#### 1. はじめに

風邪をひいておでこに手を当てたら「熱<sup>おっ</sup>っぽいね」。体温計で「熱」を測ると, 39度だ。これは大変だ! などという会話によく出会う。このような会話に慣れている我々は, 「熱」と「温度」との間に明確な相違を見出すことに不得手である。温度はものの熱さ・冷たさを示す尺度であるが, その「熱さ・冷たさ」とは何だろう。

本稿では, 熱さ・冷たさを感じさせる原因物質, すなわち分子や原子(という「粒子」)の挙動と「熱(ねっ)」との基本的な関係について, まず解説する。その後, 現象に対する粒子的な見方と熱との関係をより理解する訓練として, 「熱い・冷たい」と感じるさまざまな現象について解説する。

新学習指導要領によると, 小学校から高校まで, 科学の基本的な見方や概念の「柱」として「粒子」が位置付けられている。「熱」という物理量に対して, 「粒子」を基本単位として捉える訓練は, 理科を専門としなかった教員や, 理系でない教育学部学生にとって, 有益であろうと考える。

#### 2. 熱と温度

我々は, 熱エネルギーのことを「熱」という。熱エネルギーは, 物質の構成要素である分子や原子の振動のエネルギーである。従って熱エネルギーは, 「J: ジュール」とか「cal: カロリー」という物理的な次元を持つ単位で表され, 運動エネルギーや位置エネルギーなどと同じ単位である。

一方「温度」は, 熱エネルギーの大きさを表す「尺度」であり, 摂氏温度 [°C] という単位を持たせるのが一般的である。特に絶対温度(熱力学的温度)  $T$  [K] を用いると, 熱エネルギーとの間に比例関係を持ち込むことができる。すなわち,  $n$  個(1個の場合も含む)の原子で構成する分子の「振動(運動)エネルギー」=「熱エネルギー」を  $E_n$  とすると,

$$E_n = (2n+1)/2 \cdot k_B T \dots\dots\dots (1)$$

なる関係式で表すことができる。ここで  $k_B$  はボルツマン定数といい,  $1.38 \times 10^{-23}$  J/K という値である。金属の多くは, 格子の頂点に1個の原子が存在する「結晶」構造をなしている。原子の質量およ

\*)TEL:058-293-2246 (e-mail:nakazawa@gifu-u.ac.jp)

び平均的な速さをそれぞれ  $m$  および  $v$  とすると、

$$(1/2) \cdot m v^2 = 3k_B T/2 \dots\dots\dots (2)$$

となる。空気の場合には、窒素や酸素は原子 2 個からなる分子なので熱エネルギーは  $5k_B T/2$  となるが、空間を（3次元に）運動する部分は（2）式で表され、分子の回転と 2 原子間の伸縮の運動が残りの  $2k_B T/2$  を担っている。

絶対温度は原子や分子の熱（運動）エネルギーを表す尺度である。運動が止まり静止した状態、すなわち熱エネルギーが「ゼロ」のときの温度を「絶対零度」とする。従って、絶対温度で「マイナス」の温度はあり得ないことになる。摂氏温度にするとこの絶対零度は、 $-273.15 \text{ }^\circ\text{C}$  である。

以上の原子や分子の振動（熱）と温度との関係を図示すると、図 1 のようにまとめることができる。

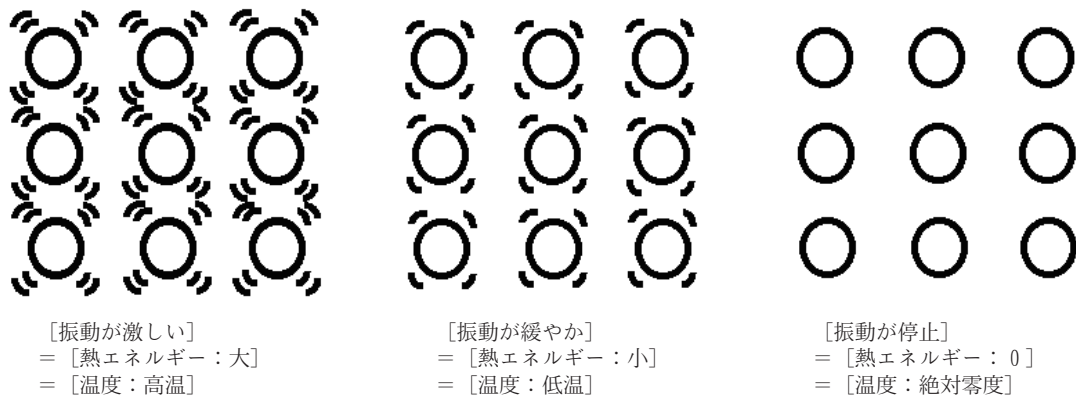


図 1. 絶対零度の場合も含め、振動の激しさと温度との関係を定性的に示す。

本節の最後に、原子や分子から少し離れて、熱エネルギーと光との関係について述べておこう。赤色のろうそくの炎とガスコンロの青白い炎とでは、後者の方が高温であることを知らない人はいないだろう。このような炎は、高校までに習った「物質の三態」では表せない、イオンの集合体である「プラズマ状態」から発せられている。電気を帯びたイオンの加速度運動が激しいほど、イオンからより高いエネルギーの光が発せられる。波長が短いほど光のエネルギーは大きい。すなわち、赤よりも波長の短い青白い光を発するガスコンロの方が高温であると、容易に推測できる。これを応用すると、例えば夜空に輝く星の中で、赤色の星と青色の星では、後者の方が高温であると推察できる。

### 3. 現象に対する粒子的な見方と熱との関係の具体例

前節では、熱い・冷たいという「熱」の源が、原子や分子の運動であることを述べた。そこで本節では、いくつかの具体事例を挙げて「粒子」を基本とする見方や概念を形成する「訓練」を行う。

#### 3-1. 熱いお湯と冷たい水

熱いお湯の中の水分子の運動は、冷たい水の中の分子の運動よりも活発なので、熱エネルギーが大きく温度も高い。このお湯に手をつけて、活発な水分子が手の皮膚（の分子）に衝突すると、皮膚の分子が水分子のエネルギーを受け取り、皮膚の温度が上昇する。皮膚には暖かさを感じる「温点」とよばれる感覚点が存在し、この温点が刺激されることによって人は熱いと感じる。一方、手の皮膚に衝突した水分子は、皮膚に与えた分だけエネルギーを減少させるので温度が低下する。

それとは逆に、冷たい水に手を浸してみよう。皮膚の方が水よりも高温である、すなわち水分子より皮膚の（分子の）方が活発に運動していると考えれば、水分子は皮膚の分子からエネルギーを受け

取る一方で、皮膚の分子は水に与えた分だけエネルギーを失い、つまり温度が低下する。この時、皮膚に分布する「冷点」とよばれる感覚体が刺激され、冷たいと感じることになる。

波んでおいた熱いお湯が冷めるのは、上述の皮膚を空気の分子に置き換えればよい。夏にアイスクリームが溶けやすいのは、上述の皮膚を空気に冷たい水をアイスクリームに置き換えればよい。

### 3-2. 夏の暑さ、冬の寒さ

日本の気候の特徴は、春夏秋冬である。夏といえば暑く、冬になると寒い。季節によってそれぞれ気温や湿度に特徴があらわれる。ではこの暑さ・寒さを決めているものは何だろう。

私たちの周りは空気で覆われている。表1に空気の主要な成分を記した。空気の主成分である窒素は、空気中を飛び回っている。夏の太陽からの強い光を浴びて分子運動が活発になると空気の温度は上昇し、冬の弱い日差しでは運動が活発でなく温度は低い。

表1. 空気の主な成分<sup>[1]</sup>

成分	体積比[%]
窒素	78
酸素	21
アルゴン	$9.3 \times 10^{-1}$
二酸化炭素	$3.2 \times 10^{-2}$
ネオン	$1.8 \times 10^{-3}$

この空気の分子の活発さを表すのが、分子運動の速さである。(2)式を用いて、温度0℃、人の平均体温36℃および2010年日本の夏の最高気温40℃における1個の窒素分子の速さを求めてみたところ、それぞれ平均493m/s、524m/sおよび528m/sとなった。時速にするとそれぞれ1770km/h、1890km/hおよび1900km/hである。これは音速(1200km/h)よりはるかに速く、そのような高速な分子が、常に我々の皮膚を直撃しているのである。

ここで、前節3-1の水分子を空気に置き換えて考えよう。皮膚の温度(平均体温36℃と仮定)に対応する窒素分子が1890km/hで皮膚に衝突する場合には、衝突におけるエネルギーのやり取りは5分5分であるが、わずかに10km/hだけ速い40℃に対応する分子が衝突すると、エネルギーを受け取る皮膚は温度が上昇し暑さを感じる。一方0℃のときには、時速1770km/hで衝突してくる窒素分子に対して皮膚の方からエネルギーを与えることになり、皮膚の温度が下がり寒さを感じるのである。

### 3-3. やかんを火にかけると水が温まる

図2のようにやかんで水を温めることを考えよう。やかんの中の水には、火が直接当たっているわけではない。

プロパンを燃焼させると、次のような反応が起こる。すなわちプロパンと空気中の酸素が反応して、二酸化炭素と水を作り、2220kJの熱エネルギーが発生する。



発生した熱エネルギーのほとんどは分子の運動を活発にするために使われる。すなわち、生成物の二酸化炭素分子と水分子に運動エネルギーが与えられることになる。運動エネルギーを得た二酸化炭素や水は、空気を構成する窒素分子ややかんの金属原子などに衝突する。その衝突の様子を図2に示す。図2中の矢印は運動する向きを表している。衝突を受けた窒素分子もやかんの金属原子に衝突する。

衝突されたやかんの金属原子は大きく振動し、やかんの中の水分子にその振動(運動エネルギー)を与える。金属原子の衝突を受けた水分子の運動エネルギーは、プロパンを燃やし続ける限り、増加の一途をたどる。しかし100℃になると、水蒸気として気化する際に失われるエネルギーとやかんに加えられるエネルギーとが一致することになり、水温はそれ以上上昇しない。ちなみに、2220kJが等しく7個の生成分子に分配されたと仮定して、例えば二酸化炭素分子1個が得るエネルギーをその速さの変化量に換算すると、27℃での約410m/sからさらに3400m/sも高速に運動するようになったことになる。

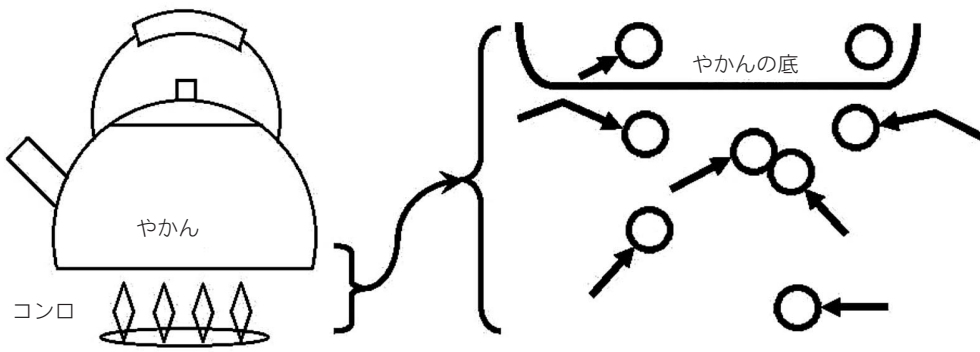


図2. やかんに衝突する分子の様子。

### 3-4. 温かい水や空気は上に集まる

冷房をつけると、床の方はよく冷えるが、天井に近い上の方は冷えにくい。またお風呂にお湯をはるときにかき混ぜないでいると、上の方が温かく、それに比べて下の方は冷たいことがある。

小学校4年生で扱う「空気と水の性質」,「金属, 水, 空気と温度」の単元では,「閉じ込めた空気や水に力を加え, 空気や水の体積変化と押し返す力の違いとを関係付けながら調べ, 空気と水の性質の違いをとらえるようにする。」また,「金属, 水, 空気を温めたり, 冷やしたりして, その時の物の状態と温度変化とを関係付けながら調べ, 熱によって物の体積が変わることや, 物によって体積変化の程度に違いがあることなど, 物の状態変化や熱の働きをとらえるようにする。」と学習指導要領解説<sup>[2]</sup>に記されている。これに関連して教科書の記述は,「水や空気は温められると『かさ』が増える。」<sup>[3]</sup> また,「水や空気は, 温められると, 上に動き, 上にある温度の低い水や空気は下に動く。」<sup>[4]</sup>とある。

温かい水や空気が上に移動する理由は, 分子(粒子)を基本にすえて考えるとわかりやすい。ここでは, 空気の分子を取り上げて解説する。

海拔0mの気圧は1013hPaである。ここで温度が27 °Cの場合と87 °Cの場合における体積の変化を比較してみよう。比較には高校で学習する次のような関係式<sup>[5]</sup>, ボイル・シャルルの法則を用いる。気体の体積  $V$  [m<sup>3</sup>], 圧力  $P$  [Pa] および絶対温度  $T$  [K] の間には, 比例定数を  $k$  として

$$V = kT/P \quad \dots\dots\dots (4)$$

なる関係がある。初期状態(圧力  $P$ , 体積  $V$ , 絶対温度  $T$ ) から終状態(圧力  $P'$ , 体積  $V'$ , 絶対温度  $T'$ ) に変化したとすると, (4) 式より

$$PV/T = (\text{比例定数 } k) = P'V'/T' \dots (5)$$

となる。この(5)式において, 圧力が一定のもとで, 温度27°Cの体積に対する87°Cでの体積変化を求めた結果を表2に示す。密度は体積変化の逆数となる。

表2. 温度, 圧力, 体積, 密度の関係

温度 [°C]	圧力 [hPa]	体積変化	空気の密度 [kg/m <sup>3</sup> ] <sup>[6]</sup>
27	1013	1	1.176
87	1013	1.2	0.980

温度が上昇する, すなわち分子の運動が活発になるにつれて, 体積が増加する。これに反して密度は減少し, いわゆる「軽いものが上方に移動する」ことになるのである。

### 3-5. 山に登ると太陽に近づくのに涼しくなる

夏になると涼を求めて山にハイキングや登山に出かける人は少なくないだろう。しかし、太陽に近づくのになぜ涼しくなるのだろうかと思議に思ったことはないだろうか。地上より山頂の方が太陽からの紫外線などの熱エネルギーを多く受けるので、空気の分子の運動が激しくなり、温度が高くなるはずである。前節3-4でも暖められた空気は上の方に集まりやすいと理解したばかりである。

これには空気の圧力である大気圧が関係している。空気を構成している分子には質量があるため、重力を

受ける。空気の平均的な分子量は、表1で示した値から約29と求められる。したがって例えば、ガス漏れ警報機を取り付ける場合には、主成分がメタン ( $\text{CH}_4$ ) である都市ガスでは部屋の上の方に、主成分がプロパン ( $\text{C}_3\text{H}_8$ ) のプロパンガスでは、空気より重いので下の方につけることになる。

さて空気の分子もそれが受ける重力によって、地表に存在しやすく、山頂では少なくなる。これは大気圧の減少として現れる。富士山頂と海面での大気圧の大きさを図3<sup>[7]</sup>に示す。海面上で受ける空気の分子の圧力約  $1 \text{ kg/cm}^2$  は、大気圧に換算すると1013hPaに相当するが、富士山頂では約2/3の約640hPaになる。(5)式によると、体積が一定のもとで圧力が降下すれば、それに合せて温度も低下することになる。圧力降下は、皮膚に衝突する空気の分子が減少することによって生じるのである。高度11kmまでの気温変化率は  $-6.5 \text{ }^\circ\text{C/km}$  である<sup>[8]</sup>。これにあてはめると、富士山頂と海面では約  $24.5^\circ\text{C}$  の温度差があり、航空機の巡航高度である高度10km付近では  $-50^\circ\text{C}$  程度であることもうなずける。さらに上空の宇宙の温度は2.7Kであるといわれている。

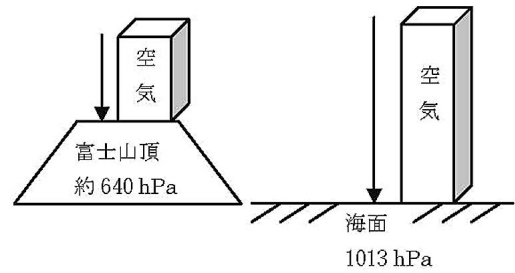


図3. 富士山と海面での大気圧を示す。富士山頂よりも海面の方が、空気による大気圧は大きい。

## 4. まとめ

物質を構成する「粒子」の持つ運動エネルギーとして熱を考えることにより、熱い・冷たいという日常感じる現象を理解する重要な手助けになることを示した。粒子としての分子や原子の運動が激しくなると温度が高くなり、逆に運動が緩やかになると温度が低下する。温度というマクロな量と、粒子というミクロな存在とを結び付けて考えることが、科学的な見方・概念の育成に必要であると考え

## 引用文献等

- [1] 「理科年表 平成15年 (机上版)」国立天文台p.85 (平成14年11月)
- [2] 「小学校学習指導要領解説 理科編」文部科学省p.40, 41 (平成20年6月)
- [3] 「新編 新しい理科 4下」東京書籍 p.22 (平成21年7月)
- [4] 「新編 新しい理科 4下」東京書籍 p.56 (平成21年7月)
- [5] 「高等学校物理II」, 啓林館p.181 (平成15年3月)
- [6] 「理科年表 平成15年 (机上版)」国立天文台p.374 (平成14年11月)
- [7] 「未来へひろがるサイエンス 1 分野上」, 啓林館p.33 (平成17年2月)
- [8] 「理科年表 平成15年 (机上版)」国立天文台p.314 (平成14年11月)

